

The Abstract in english is:

**The invention is about a fibre optic laser speckle interferometer.**

**The digital** (*this is the original use of "digital" meaning "dual", "double" or "binary" i.e. using two beams ...!*) **laser speckle interferometer according to the principle of double illumination to be used for the registration of surface deformation should be small, light weight and mobile, there should be no mirrors or lenses and ( the device ) should be resistant against environmental influence, vibration and rigid translation.**

**A measuring head comprises a CCD-Camera, a fibre optic beam splitter and a mount for mono mode optical fibres. By using a single mono mode optical fibre the measurement head is supplied with coherent laser light** (*i.e. there is a monochromatic laser light source used*), **which is split by the beamsplitter in equal shares to two mono mode optical fibres, which directly illuminate the object.**

**The measuring head is connected to a digital image processing system by a electric cable.**

**The measuring head may be fixed directly to the object.**

**The measuring head may be used free to move, possibly at difficult to reach positions, even outside of the laser laboratory.**

**The measuring head has low sensitivity to vibration and rigid translation.**

**The laser speckle interferometer disclosed in DD 293 893 comprises a coherent laser light source (as also given in claim 1) to illuminate the surface of a sample under investigation. The disclosed speckle interferometer is to be used for the registration of a surface deformation of said sample. Essential part of this setup is the coherent laser light source.**

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

# PATENTSCHRIFT



(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 293 893 A5**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27.10.1983

5(51) G 01 N 21/45

In Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

## DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 01 N / 339 777 5	(22) 17.04.90	(44) 12.09.91
----------------------------	---------------	---------------

(71) siehe (73)

(72) Höfling, Roland, Dr. rer. nat.; Aswendt, Petra, Dipl.-Ing.; Totzauer, Werner, Dr. sc. techn., DE

(73) Akademie der Wissenschaften, Institut für Mechanik, PSF 408, O - 9010 Chemnitz, DE

(54) **Faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer P71**

(55) Laser-Speckle-Interferometer, faseroptisch mobil; Doppelbeleuchtung; Monomode-Lichtleitfaser; Verformungen; Erfassung, feldmäßig

(57) Die Erfindung betrifft ein faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer. Das digitale Laser-Speckle-Interferometer nach dem Doppelbeleuchtungsprinzip für die berührungslose feldmäßige Erfassung von Verformungen soll klein, leicht und mobil sein, keine Spiegel und Linsen erfordern, wenig empfindlich gegen Umwelteinflüsse und Schwingungen und von Starrkörperverschiebungen unbeeinflusst sein. Ein Meßkopf umfaßt eine CCD-Kamera, einen faseroptischen Strahlteiler und eine Halterung für Monomode-Lichtleitfasern. Dem Meßkopf wird über eine einzige Monomode-Lichtleitfaser kohärentes Laserlicht zugeführt, das über den Strahlteiler zu gleichen Teilen auf zwei Monomode-Lichtleitfasern zur unmittelbaren Beleuchtung des Objektes aufgeteilt wird. Der Meßkopf ist über ein Elektrokabel mit einem digitalen Bildverarbeitungssystem verbunden. Er kann unmittelbar am Objekt befestigt werden. Der Meßkopf kann mobil, insbesondere auch an schwer zugänglichen Stellen, außerhalb des Laserlabors eingesetzt werden. Er ist wenig empfindlich gegenüber Schwingungen und Starrkörperverschiebungen.

ISSN 0433-6461

6 Seiten

## Patentansprüche:

1. Faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer für die digitale Specklemusterinterferometrie nach dem Doppelbeleuchtungsprinzip, das als mobiles Gerät für die industrielle Anwendung, insbesondere auch an schwer zugänglichen Stellen zur berührungslosen feldmäßigen Messung von Verformungen an Objekten geeignet ist, mit Monomode-Lichtleitfasern, mit faseroptischen Mitteln zur Strahlteilung, mit einer CCD-Kamera und mit einem Anschluß der CCD-Kamera an ein digitales Bildverarbeitungssystem, dadurch gekennzeichnet, daß ein mobiler Meßkopf (1), der die CCD-Kamera (8), den faseroptischen Strahlteiler (9) und eine Halterung (10) für die Monomode-Lichtleitfasern (11; 12) zur Beleuchtung des Objektes (6), die untereinander fest verbunden sind, enthält, unmittelbar am Objekt (6) befestigbar ist, daß dem Meßkopf (1) kohärentes Licht vom Laser (3) über eine Monomode-Lichtleitfaser (2) zugeführt wird, welches im Strahlteiler (9) zu gleichen Teilen auf zwei Monomode-Lichtleitfasern (11; 12) aufgeteilt und von diesen zur unmittelbaren Beleuchtung des Objektes (6) weitergeleitet wird, indem die Faserenden (13; 14) der beiden Monomode-Lichtleitfasern (11; 12) jeweils unter einem spitzen Winkel zur optischen Achse der CCD-Kamera (8) auf das Objekt (6) gerichtet sind, wovon die eine der beiden Monomode-Lichtleitfasern (11) in der Halterung (10) fest angeordnet, die andere Monomode-Lichtleitfaser (12) zur Ermittlung verschiedener Verformungsrichtungen in der Halterung (10) in verschiedene Positionen bringbar ist.
2. Faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Monomode-Lichtleitfasern (11; 12) symmetrisch zur optischen Achse der CCD-Kamera (8) angeordnet sind.
3. Faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Monomode-Lichtleitfasern (11; 12) aus etwa gleicher Richtung auf das Objekt (6) gerichtet sind, wobei sich ihre spitzen Winkel gegenüber der optischen Achse der CCD-Kamera (8) geringfügig voneinander unterscheiden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer für die digitale Specklemusterinterferometrie nach dem Doppelbeleuchtungsprinzip. Sie ist anwendbar in mobilen Geräten zur berührungslosen feldmäßigen Messung von Verformungen an Objekten außerhalb des Laserlabors.

## Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es ist bekannt, die Lichtleittechnik für kohärent-optische Meß- und Prüfverfahren einzusetzen. Insbesondere für die holografische Interferometrie und die Specklemusterinterferometrie sind Lösungen bekannt, wo sich durch den Einsatz der Lichtleittechnik die Möglichkeiten der berührungsfreien Feldmeßverfahren für die industrielle Nutzung wesentlich erhöhen. In den bisher bekannten Anordnungen werden Lichtleiter vorzugsweise dazu verwendet, den Laser vom optischen Meßkopf zu trennen. In diesen Fällen wurden die Linsen und Spiegel im Meßkopf jedoch gar nicht oder nur teilweise durch Lichtleiter ersetzt. Speziell in der digitalen Specklemusterinterferometrie wurde lediglich die Referenzwelle mittels Lichtleiter erzeugt (K. Creath, Phase-shifting speckle interferometry, Applied Optics 24 [1985] 3053-3058).

Es sind auch Lösungen bekannt, bei denen zur Beleuchtung eines Objektes eine Monomode-Lichtleitfaser und zur Übertragung des Speckle-Musters zur Kamera oder zu einer fotografischen Platte ein Multimode-Faserbündel verwendet werden (T. D. Dudderar u. a., Application of Fiber Optics to Speckle Metrology - a Feasibility Study, Experimental Mechanics 23 [1983] 289-297).

Der Nachteil bei den bekannten Anordnungen besteht darin, daß teilweise fest Strahlengänge mit Spiegel, Linsen usw. verwendet werden, daß in den Meßköpfen an den Ausgängen der Lichtleitfasern Linsen erforderlich sind, daß sich Umgebungseinflüsse auswirken können (Luftbewegungen, Schwingungen), und daß Starrkörperverschiebungen die Meßergebnisse beeinflussen können.

## Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, bei faseroptischen Laser-Speckle-Interferometern Justier- und Wartungsarbeiten zu erübrigen, jegliche Gefährdung durch unaufgeweitetes Licht zu vermeiden, die Empfindlichkeit gegenüber Umgebungseinflüssen zu verringern und den Einfluß von Starrkörperverschiebungen auszuschalten.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein faseroptisches Laser-Speckle-Interferometer zu schaffen, das klein, leicht und mobil ist, das auf Spiegel und Linsen in den Strahlengängen verzichtet und das ohne spezielle Vorkehrungen zur Dämpfung von Schwingungen bzw. zur Vermeidung des Einflusses von Starrkörperverschleibungen auskommt.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß ein mobiler Meßkopf, der die CCD-Kamera, den faseroptischen Strahlteiler und eine Halterung für die Monomode-Lichtleitfasern zur Beleuchtung des Objektes, die untereinander fest verbunden sind, enthält, unmittelbar am Objekt befestigbar ist, daß dem Meßkopf kohärentes Licht vom Laser über eine Monomode-Lichtleitfaser zugeführt wird, welches im Strahlteiler zu gleichen Teilen auf zwei Monomode-Lichtleitfasern aufgeteilt und von diesen zur unmittelbaren Beleuchtung des Objektes weitergeleitet wird, indem die Faserenden der beiden Monomode-Lichtleitfasern jeweils unter einem spitzen Winkel zur optischen Achse der CCD-Kamera auf das Objekt gerichtet sind, wovon die eine der beiden Monomode-Lichtleitfasern in der Halterung fest angeordnet, die andere Monomode-Lichtleitfaser zur Ermittlung verschiedener Verformungsrichtungen in der Halterung in verschiedenen Positionen bringbar ist.

Die beiden Monomode-Lichtleitfasern sind symmetrisch zur optischen Achse der CCD-Kamera angeordnet oder sie sind aus etwa gleicher Richtung auf das Objekt gerichtet, wobei sich ihre spitzen Winkel gegenüber der optischen Achse der CCD-Kamera geringfügig voneinander unterscheiden.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung sei anhand eines Ausführungsbeispiels näher gezeigt und beschrieben. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: eine Prinzipskizze der gesamten Anordnung eines faseroptischen Laser-Speckle-Interferometers und  
Fig. 2: eine Darstellung des Meßkopfes mit dem Strahlengang zur Beleuchtung des Objektes.

Ein Meßkopf 1 ist lediglich über eine einzige Monomode-Lichtleitfaser 2 mit einem Laser 3 und über ein geeignetes Elektrokabel 4 mit einem digitalen Bildverarbeitungssystem 5 verbunden (Fig. 1). Der Meßkopf 1 ist gegenüber einem zu untersuchenden Objekt 6 in an sich bekannter Weise und mit bekannten Mitteln zu positionieren. Bei entsprechender Größe und Eignung kann das Objekt 6 mit dem Meßkopf 1 durch eine Befestigung 7 fest verbunden sein, beispielsweise durch Streben, Stützen, Winkel, Schienen oder ähnliche Mittel. Der Meßkopf 1 und das Objekt 6 könnten auch auf einer gemeinsamen festen Unterlage zueinander positioniert sein. Der Meßkopf 1 besteht im wesentlichen aus einer bekannten CCD-Kamera 8, einem faseroptischen Strahlteiler 9 und einer Halterung 10 (Fig. 2), die fest miteinander verbunden sind. Die Monomode-Lichtleitfaser 2 ist an den Strahlteiler 9 geführt, von dem aus zwei Monomode-Lichtleitfasern 10, 11 wegführen, die zur Beleuchtung des Objektes 6 dienen. Die Faserenden 13, 14 der beiden Monomode-Lichtleitfasern 11, 12 sind mit der Halterung 10 fest verbindbar und seitlich vom Objektiv der CCD-Kamera 8 so auf das Objekt 6 gerichtet, daß die aus ihnen austretenden Lichtstrahlen spitze Winkel mit der optischen Achse der CCD-Kamera 8 bilden. Die eine Monomode-Lichtleitfaser 11 hat dabei eine feste Position in der Halterung 10, während die andere Monomode-Lichtleitfaser 12 auf derselben Seite der Halterung 10 wie die Monomode-Lichtleitfaser 11, das Objekt 6 aus gleicher Richtung beleuchtend, wobei sich die spitzen Winkel ihrer Lichtstrahlen gegenüber der optischen Achse der CCD-Kamera 8 geringfügig voneinander unterscheiden.

Die Wirkungsweise der beschriebenen Einrichtung ist folgende: Der gegenüber einem zu untersuchenden Objekt 6 positionierte Meßkopf 1 wird über eine einzige Monomode-Lichtleitfaser 2 vom Laser 3 mit kohärentem Licht versorgt. Dieses Licht wird durch den faseroptischen Strahlteiler 9 zu gleichen Teilen auf die beiden Monomode-Lichtleitfasern 11, 12 aufgeteilt. An den Faserenden 13, 14 tritt es aus und beleuchtet das Objekt 6. Die ausgeleuchtete Fläche des Objektes 6 hat in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel des aus den Monomode-Lichtleitfasern 11, 12 austretenden Lichtes und von dem Abstand zwischen Objekt 6 und CCD-Kamera 8 eine Größenordnung von bis zu einigen hundert Quadratzentimetern. Die beiden Monomode-Lichtleitfasern 11, 12 sind dabei wahlweise aus entgegengesetzter oder aus gleicher Richtung auf das Objekt 6 gerichtet, wobei die eine Monomode-Lichtleitfaser 11 an der Halterung 10 unveränderlich fest angeordnet ist, während die andere Monomode-Lichtleitfaser 12 entweder in der Position a (Fig. 2) oder in der Position b (Fig. 2 – gestrichelt gezeichnet) befestigt werden kann. In diesen beiden Positionen lassen sich Verformungen senkrecht (Position a) oder in Richtung (Position b) zur optischen Achse der CCD-Kamera 7 ermitteln. Die spitzen Winkel, unter denen die Lichtstrahlen gegenüber der optischen Achse der CCD-Kamera 8 auf das Objekt gerichtet sind, sollten vorteilhafterweise in einem Bereich zwischen 30° und 60° liegen. Die von der CCD-Kamera 8 aufgezeichneten Specklemuster werden in bekannter Weise über das Elektrokabel 4 zum digitalen Bildverarbeitungssystem 5 übertragen. Unter bestimmten Bedingungen, beispielsweise zur Optimierung der Objektbeleuchtung, kann es vorteilhaft sein, die Faserenden 13, 14 der Monomode-Lichtleitfasern 11, 12 mit Linsen zu bestücken.

Die erfindungsgemäße Lösung bietet folgende Vorteile:

Größe und Gewicht des Meßkopfes 1 werden im wesentlichen bestimmt von der verwendeten CCD-Kamera 7. Da das für die Beleuchtung des Objektes 6 erforderliche kohärente Laserlicht von einer einzigen Monomode-Lichtleitfaser 2 vom Laser 3 zum Meßkopf 1 übertragen wird, läßt sich eine dafür geeignete kleine CCD-Kamera 8 anwenden. Da neben der Monomode-Lichtleitfaser 2 lediglich noch ein entsprechendes Elektrokabel 4 als Verbindung des Meßkopfes 1 zu dem digitalen Bildverarbeitungssystem 5 führt, ist der Meßkopf 1 mobil einsetzbar und eignet sich damit insbesondere für eine Anwendung in industriellen Prozessen außerhalb des Laserlabors. Damit sind Untersuchungen an Objekten 6 möglich, die mit bisher bekannten Geräten nicht oder nur mit größeren Umständen untersuchbar waren. An unzugänglichen Stellen, beispielsweise auch in Hohlräumen von Objekten 6 lassen sich mit der erfindungsgemäßen Einrichtung nunmehr Untersuchungen vornehmen. Ein

weiterer Vorteil ergibt sich daraus, daß der Meßkopf 1 unmittelbar am Objekt 6 befestigt werden kann, wenn das Objekt 6 dies auf Grund seiner Beschaffenheit erlaubt. Dadurch wird der Einfluß von Starrkörperverschiebungen auf die Meßergebnisse eliminiert und die Empfindlichkeit gegenüber Umgebungseinflüssen, wie z. B. Luftbewegungen oder Schwingungen wird vermindert. Durch den Wegfall von Linsen, Spiegeln usw. wird der Meßkopf 1 ebenfalls klein und leicht gehalten und die Mobilität erhöht. Außerdem entfallen bisher notwendige Justier- und Wartungsarbeiten und Stabilitätsprobleme werden reduziert. Es tritt keine Gefährdung durch unaufgeweltes Laserlicht mehr auf. Durch die mit wenigen Handgriffen leicht zu verändernde Position des Faserendes 14 der einen Monomode-Lichtleitfaser 12 an der Halterung 10 lassen sich wahlweise Verformungen des Objektes 6 senkrecht zur optischen Achse der CCD-Kamera 8 (gemäß Fall a, in Fig. 2) bzw. in Richtung der optischen Achse (Fall b, in Fig. 2 - gestrichelt gezeichnet), entsprechend den bekannten Prinzipien der digitalen Specklemusterinterferometrie, ermitteln. Bei Einsatz eines Lasers 3, dessen Abmessungen mit denen der benutzten CCD-Kamera 8 vergleichbar sind (Diodenlaser), kann dieser mit in den Meßkopf 1 aufgenommen werden.

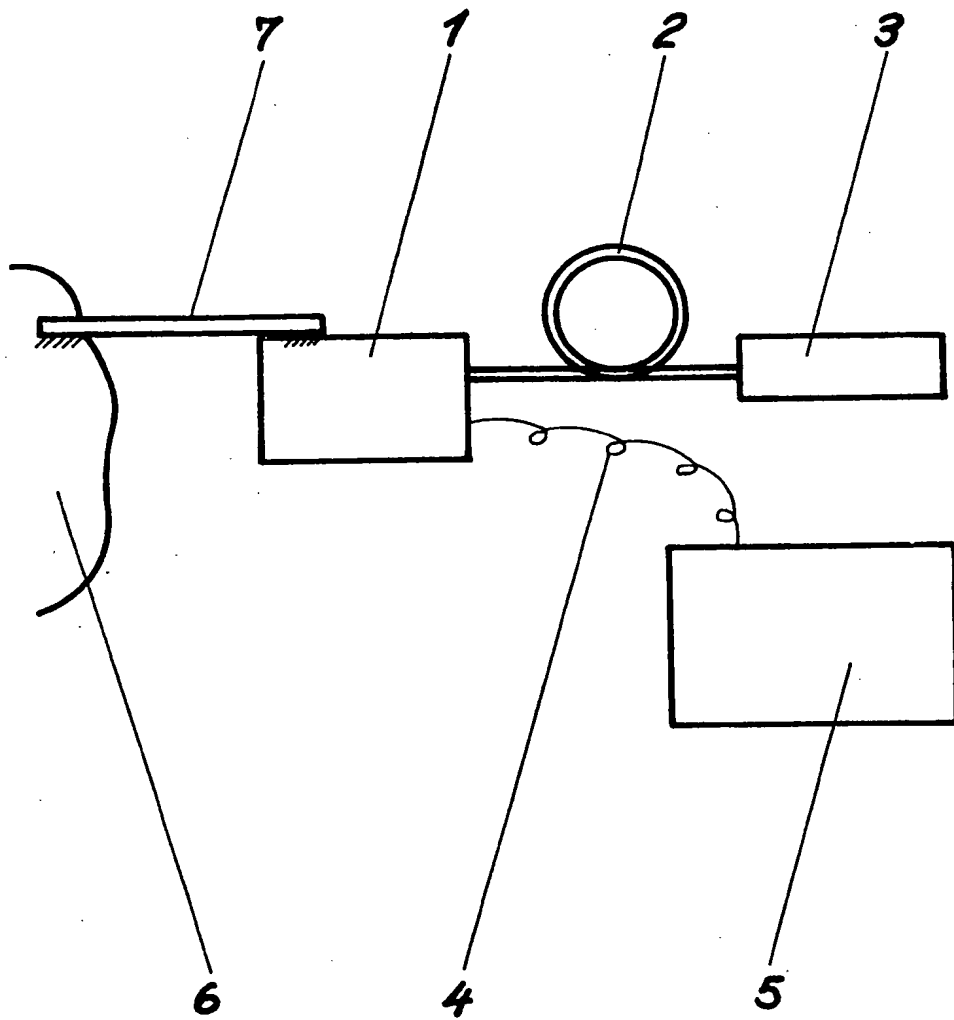


Fig. 1

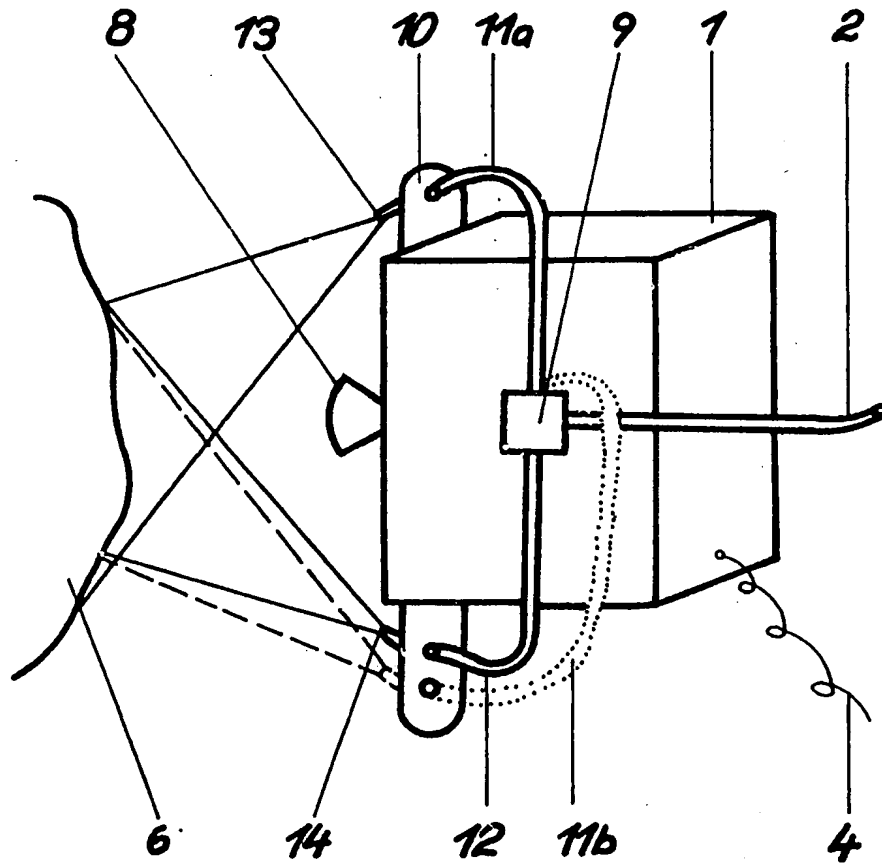


Fig.2